

文章编号:0253-9985(2011)05-0724-09

下扬子地区古生界海相碳酸盐岩层序地层发育模式及储层预测

纪友亮,周 勇,王改为,路琳琳

(中国石油大学 地球科学学院,北京 102249)

摘要:以层序地层学、沉积学等理论、方法为指导,以野外露头资料为主,综合应用钻井、测井等资料对下扬子地区古生代海相地层进行了研究。在野外考察过程中识别出代表四种类型层序边界的不整合面,即隆升侵蚀型不整合、海侵上超型不整合、水下侵蚀型不整合和暴露侵蚀型不整合。此外,还识别出4种类型的凝缩段,即震旦系的煤层,志留系、石炭系高骊山组的页岩,奥陶系的薄层白云岩以及石炭系的薄层灰岩。根据这些界面标志,共划分出11个二级层序,建立了下扬子区层序地层格架。在此基础上,根据下扬子地区古生界野外露头剖面所确定的岩性、岩相、沉积构造等沉积标志特征,确定了下扬子地区古生界发育3种沉积体系类型,即大陆沉积体系,海陆过渡沉积体系和海洋沉积体系。最后结合区域性大地构造背景及前人研究成果,对本区的盆地性质及演化进行了研究,并分别建立了研究区震旦纪—晚奥陶世、泥盆世和石炭纪两拗夹一隆型的克拉通盆地层序模式、晚奥陶世末到晚志留世的前陆盆地层序模式和中、晚奥陶世、晚二叠世—中三叠世的被动大陆边缘盆地层序模式,总结了其各自的层序发育特征,明确了研究区不同类型背景的层序的储层的发育特征。

关键词:层序模式;沉积体系;海相地层;碳酸盐岩;层序地层学;古生界;下扬子地区

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Sequence stratigraphic models and reservoir prediction of the Paleozoic marine carbonates in the Lower Yangtze area

Ji Youliang, Zhou Yong, Wang Gaiwei and Lu Linlin

(College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: According to the principles of sequence stratigraphy and sedimentology, we studied the Paleozoic marine deposits in the Lower Yangtze area by using outcrop observation data integrated with drilling and logging data. We identified four types of unconformities through field observation, including uplifting-erosion unconformity, transgressive onlapping unconformity, underwater erosional unconformity and subareal erosional unconformity. In addition, we also identified 4 types of condensed sections, including the Sinian coal layer, the Silurian-Carboniferous Gaolishan Formation shale, thin Ordovician dolomite and thin Carboniferous limestone. According to these boundary marks, 11 second-order sequences were recognized and a sequence stratigraphic framework was established in the Lower Yangtze area. According to the lithologies, facies and sedimentary structures defined through field outcrop observation, we established three sedimentary systems for the Paleozoic in the study area, namely continental sedimentary system, transition sedimentary system and ocean sedimentary system. Finally, based on the regional tectonic setting and previous research results, we studied the nature and evolution of basin in the study area. Three sequence stratigraphic models were established, i. e. the Sinian-Late Ordovician, Devonian and Carboniferous stratigraphy model of craton basin, the latest Ordovician-Late Silurian stratigraphy model of fore-land basin and the Middle and Late Ordovician, Late Permian-Middle Triassic stratigraphy model of passive mar-

收稿日期:2011-03-01。

第一作者简介:纪友亮(1962—),男,博士、教授、博士生导师,层序地层学和储层地质学。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05009-003;2011ZX05003-002)。

gin basin. Their sequence characteristics were summarized.

Key words: sequence model, sedimentary system, marine strata, carbonate rock, sequence stratigraphy, Paleozoic, Lower Yangtze area

1 地质概况

本文所研究下扬子地区为中国南方海相油气勘探的重要地区,主要是指郯庐断裂东南、江山-绍兴断裂西北的广大地区;行政区划上,主要包括苏、皖、沪、浙西北地区(图1)。区内震旦纪、寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪和三叠纪等8个地质时代的海相地层发育齐全,沉积类型多样,生物化石丰富,具有良好的生物地层、年代地层和沉积相研究基础。本次研究的层位也是下扬子区内从震旦纪至三叠纪8个时代的地层^[1-4]。

2 下扬子地区古生界层序地层格架

为了研究层序类型,建立层序格架,并预测储层的发育特点,首先识别层序界面的成因类型。我们根据下扬子地区野外露头剖面所观察到的岩

性及其变化特点,对层序的成因类型进行了划分。

2.1 层序界面的成因类型及特点

2.1.1 隆升侵蚀不整合型层序界面

隆升侵蚀不整合是以区域构造活动为主所产生的效应大于海平面下降的暴露侵蚀,构造活动以隆升作用占主导。隆升侵蚀不整合与 P. R. Vail 所划分的经典的 I 型层序界面相当,不整合特征明显。下扬子地区主要见于寒武系与灯影组、幕府山组与炮台山组、志留系与泥盆系、上泥盆统与下石炭统、石炭系与二叠系、下二叠统和上二叠统以及幕府山组和志留系内部所发育的三级层序,此种类型的层序边界也主要见于沉积古地貌的高部位,如碳酸盐岩台地沉积区、沉积盆地边缘地区^[5-7]。根据野外踏勘,其具有以下特征。

1) 发育古风化壳。风化壳的厚度一般为几毫米至几厘米,总体上厚度较薄,成分主要为铁质

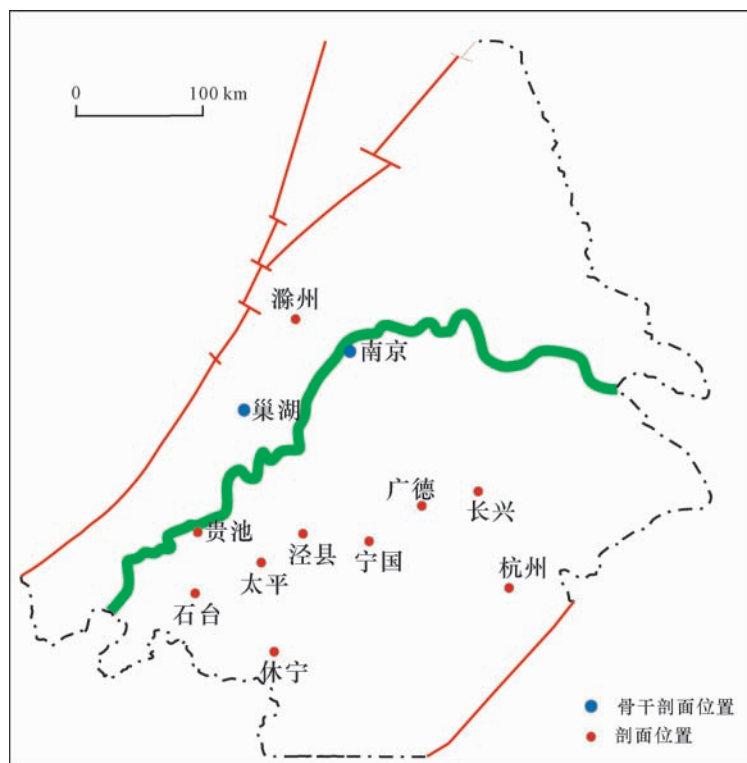


图1 研究区位置及露头剖面点位置

Fig. 1 Location map of study area and outcrops

风化壳,颜色呈红色。如在宁镇地区的幕府山组与炮台山组、五通组与茅山组之间的风化壳特征非常明显;上古生界石炭系底部与上泥盆统五通组之间下扬子区南部发育有3~4层铝土矿型风化壳,泥盆系与志留系的分界面也存在一风化壳。

2) 发育古岩溶。在碳酸盐沉积发育区,特别在碳酸盐台地沉积区较常见,由于海平面下降,碳酸盐台地出露水面,长期遭受淋滤,形成古喀斯特地貌。在古生界沉积地层常表现为古岩溶角砾岩,砾石棱角分明,角砾与下伏地层的岩性相同。如巢湖苏家湾剖面灯影组顶部发育角砾状硅质岩;上石炭统船山组顶部的灰岩具喀斯特特征(图2),界面凹凸不齐,富含铁的铝土矿。

3) 地层常存在一定的缺失,上下地层甚至出现产状不一致,存在一定角度。不整合发育区,由于长期暴露,地层发育不全,有的三级层序中的体系域沉积不完整,常缺失低位体系域或湖侵体系域的下部,甚至局部地区可能缺失一个或多个三级层序。层序界面上下地层产状的不一致性,与沉积区的构造运动相关。如南京幕府山剖面的灯影组与幕府山组呈微角度接触,灯影组顶部发育红色残积角砾。

4) 碎屑岩沉积区,可发育海侵底砾岩。此现

象在志留系、泥盆系中普遍发育,特别是泥盆系五通组底部的底砾岩最为典型,砾石的成分主要为石英和燧石,成分、结构成熟度均较高,并且与风化壳共生,砾岩层分布于风化壳层之上。

有些地区该类型界面尚不具备有上述特征的古风化壳或喀斯特地形,界面上下的接触关系为整合接触,该界面为一隐性层序界面。其特征是通过上下沉积物的沉积构造样式和沉积环境的差异来追溯和标识。该界面上下沉积物的沉积环境有明显的差异,如下二叠统和上二叠统间界面,界面之下为浅海陆架—滨海的陆源碎屑岩,而界面之上则为三角洲相的含煤陆源碎屑岩。

2.1.2 海侵上超不整合型层序界面

此类型的不整合界面响应特征没有升降侵蚀型清楚,以海侵上超不整合构筑的层序界面通常具有3个特点:①盆地动力机制处于拉张沉降阶段;②与全球或区域的海平面上升同步,盆地的沉降与海平面快速上升耦合,不仅导致有效可容纳空间的增大,而且形成截切的海侵面;③界面之上的沉积体,通常为相对于下伏高水位体系域或低水位体系域具有向上变细、变深的沉积相组合体,往往具有双向上超,界面之下为受长期剥蚀的沉



图2 浙江省长兴葡萄山剖面

Fig. 2 Changxing Putaoshan outcrop in Zhejiang province: the unconformity between the Chuanshang and Huanglong Fms is a type-I sequence boundary, the limestone on top of the Upper Carboniferous Chuanshang Formation is characterized by its karst features, uneven surface and the occurrence of aluymite rich in iron

(船山组与黄龙组之间的不整合面为I型层序边界,上石炭统船山组顶部的灰岩具喀斯特特征,界面凹凸不齐,富含铁的铝土矿。)

积体,它是隆升侵蚀不整合,相对界面之上的海侵体系域而言,它又是海侵上超不整合,海侵面与层序不整合面合二为一,这是海平面上升速率快的表现^[8-10]。

在界面的形成过程中,伴随海平面的升降变化,界面上下沉积物特征存在一定的差异,其识别特征主要表现在岩相变化上,例如南京汤山上寒武统西阳山组与下奥陶统谭家桥组之间的海侵上超不整合(图3)。二叠纪时,下扬子区具有海侵上超特点的层序界面主要为栖霞组底部的海侵体系域的上超面,海侵上超不整合与升降侵蚀不整合界面合二为一。此外,二叠系茅口组与栖霞组之间、大隆组与龙潭组之间,石炭系和州组与高

骊山组之间、黄龙组与和州组之间、船山组与黄龙组之间,各层序间均为海侵上超不整合。

2.1.3 水下侵蚀不整合型层序界面

水下侵蚀不整合主要出现于台地前缘斜坡—盆地沉积相区,代表了水下冲刷、侵蚀和特殊的低水位体系域。该现象在奥陶系沉积期的下扬子南部地区较常见,每个层序底部发育砾屑灰岩,砾屑为盆内碎屑,但颜色与砾屑间的充填物的颜色存在差异,砾屑多为浅灰色、灰白色,而充填物多为灰色、深灰色,同时砾屑灰岩层中的滑塌变形构造发育。如在太平上长源剖面,砾屑灰岩,砾屑具定向排列(图4)。

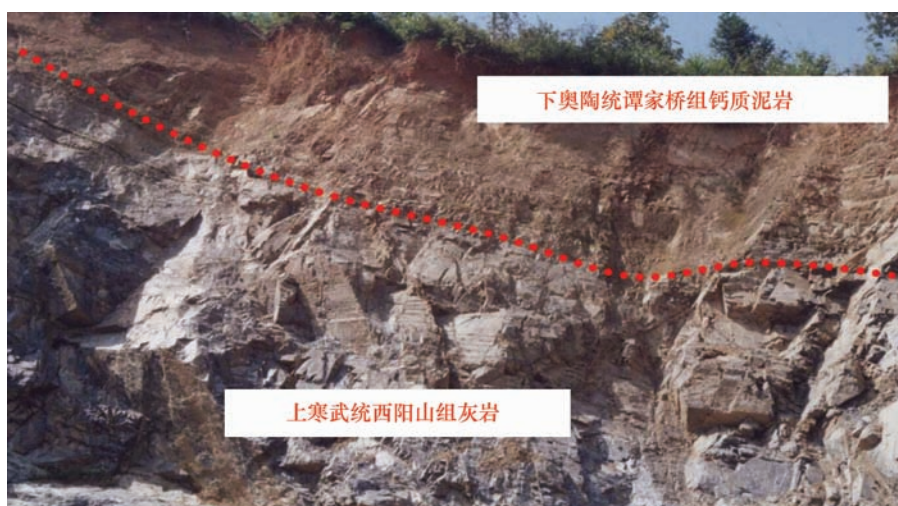


图3 南京汤山上寒武统西阳山组与下奥陶统谭家桥组之间的海侵上超不整合

Fig. 3 The transgressive onlapping unconformity between the Upper Cambrian Yangsha Formation and the Lower Ordovician Tanjiaqiao Formation on the Nanjing Tangshan profile



图4 安徽省太平上长源剖面

Fig. 4 Taiping Shangchangyuan outcrop in Anhui province showing an underwater erosional unconformity, with calcirudite occurring on lower sequence boundary (层序底部为砾屑灰岩,砾屑具定向排列,为水下侵蚀不整合。)

2.1.4 暴露侵蚀不整合型层序界面

暴露侵蚀不整合是指以海平面相对下降为主控因素,使原水下沉积物暴露地表遭受风化剥蚀而形成。这种类型的层序界面在下扬子地区古生界发育广泛,主要有以下识别特征:

1) 界面上下沉积物存在较大的差别;
2) 界面形态呈波状弯曲,局部尚见有溶蚀角砾如黄龙组顶部的角砾成分为下伏体系域船山组的岩石,船山组的顶部还见到古土壤面;

3) 在台地出露地表后,则大量发育溶蚀孔洞和石膏白云岩化,局部地段有古土壤化(图4)。金陵组灰岩与高骊山组陆源碎屑沉积相接,沉积了粉砂质页岩和泥岩及粉砂岩,这些物质组构都说明是海平面下降的结果。

2.1.5 缓慢沉积段特征

在下扬子地区古生界,缓慢沉积段(CS段)一般对应于最大海泛面。该界面可以区分开海侵体系域和高位体系域,它是由薄层的深海或半深海沉积物构成的岩层。这类沉积物是在准层序逐步向岸推进,而盆地又缺少陆源沉积物的时期沉积的。这种层段中动物群的分异度和丰度在整个层序中都是最大的。尽管缓慢沉积段一般很薄,沉积物聚集速率很低,且经历很长时间,但该段的沉积作用却是连续的,缓慢沉积段是最大海泛期

沉积的产物,海侵体系域晚期在大套沉积岩中出现相对较薄的岩层应考虑为凝缩段^[11-13]。本次野外考察中常见的有四种类型的缓慢沉积段,即震旦系的煤层,志留系、石炭系高骊山组的页岩(图5),奥陶系的薄层白云岩以及石炭系的薄层灰岩。这些层序界面和最大海泛面的密集岩性段在盆地范围内的对比是建立下扬子研究区层序地层格架的基础。

2.2 下扬子地区古生界层序地层格架

根据层序地层学原理,通过野外基干剖面、重点剖面的踏勘、观测以及对前人研究成果的总结分析,根据上述识别出的各种类型的层序界面和缓慢沉积段,将下扬子区海相中生界、古生界划分出11个二级层序,其中震旦系上统为第1个二级层序,本区该二级层序海侵体系域发育的陡山沱组基本没有出露,只发育相当于高水位体系域的灯影组沉积;下寒武统为第2个二级层序;中、上寒武统为第3个二级层序;下奥陶统中下部仑山组 and 红花园组沉积期为第4个二级层序;下奥陶统上部、上奥陶统沉积为第5个二级层序;志留系为第6个二级层序;上泥盆统五通组沉积期为第7个二级层序;下石炭统沉积期为第8个二级层序;上石炭统沉积期为第9个二级层序;下二叠统栖霞组和孤峰组为第10个二级层序;上二叠统和中、下三叠统为第11个二级层序。



图5 南京汤山镇孔山剖面显示的高骊山组砂页岩韵律中的黑色页岩

Fig. 5 Kongshan outcrop in Tangshan town of Nanjing showing the black shale in the Gaolishan Formation

通过对下扬子全区中生界、古生界的划分、对比,建立了该地区古生界的层序地层格架。

3 碳酸盐岩地层层序类型与储层预测

3.1 沉积体系类型

为了研究下扬子地区古生界碳酸盐岩地层层序类型与储层的关系,并对储层进行预测,需要对古生界碳酸盐岩沉积体系和沉积相类型进行分析。

根据下扬子地区古生界野外露头剖面所确定的岩性、岩相、沉积构造等沉积标志特征,确定了下扬子地区古生界有如下沉积体系类型(表1)。

1) 大陆沉积体系组
仅识别出了风化残积沉积体系,主要分布在各

层序界面的风化壳处。如震旦系顶面的风化土层。

2) 海陆过渡沉积体系组

主要发育在二叠系,为三角洲沉积体系的砂岩和页岩沉积。

3) 海洋沉积体系组

下扬子地区古生界海洋沉积体系组非常发育,常见的有滨海沉积体系、陆棚沉积体系、台地沉积体系、台地边缘沉积体系、大陆斜坡沉积体系、台盆沉积体系、缓坡沉积体系和深海盆地沉积体系。

3.2 层序类型及有利储层预测

根据下扬子区沉积背景和建立起来的古生界层序格架及不同层序内沉积体系的组合特点,总

表1 下扬子地区古生界沉积体系(组)、相、亚相和微相划分
Table 1 Division of sedimentary system(formation), facies, sub-facies, and micro-facies of the Paleozoic in the Lower Yangtze area

地层				钻井揭露最大厚度/m	主要岩性	主要沉积体系及其组合
界	系	统	组			
中生界	三叠系	中统	周冲村组	495	含膏云岩、白云岩、膏岩	蒸发台地
		下统	青龙组	1 189	薄层灰岩、石灰岩、泥岩	台地-斜坡
古生界	二叠系	上统	大隆组	59	石灰岩、硅质泥岩	盆地
			龙潭组	379	砂岩、泥岩、薄煤层	滨岸-陆棚
		下统	孤峰组	79	硅质泥岩、泥岩	陆棚-盆地
			栖霞组	292	含燧石灰岩、石灰岩	台地
	石炭系	上统	船山组	92	石灰岩、球状石灰岩	台地
		中统	黄龙组	209	石灰岩、白云岩	
		下统	和洲组	15	泥岩、砂岩	滨岸
			高骊山组	82	杂色泥岩、砂岩	
			金陵组	26	北部石灰岩,南部碎屑岩	
	泥盆系	上统	五通组	204	石英砂岩,少量泥岩	滨岸
	志留系	上统	茅山组	95	砂岩、紫色泥岩	滨岸
		中统	坟头组	539	砂岩、泥岩互层	临滨-陆棚
		下统	高家边组	1 719	泥岩	陆棚-盆地
	奥陶系	上统	五峰组	18	泥岩、硅质泥岩	盆地
			汤头组	40	泥岩、石灰岩	缓坡-盆地
		中统	汤山组	25	石灰岩、瘤状灰岩	陆棚-盆地
			大湾组	89	石灰岩	开阔台地-斜坡-盆地
		下统	红花园组	107	白云质灰岩、石灰岩	
			仑山组	212	白云质灰岩、白云岩	
	寒武系	上统	观音台组	354	白云岩、硅质云岩	局限台地-斜坡-盆地
		中统	炮山组	229	白云岩	
		下统	幕府山组	134	白云岩、硅质泥质岩	
	震旦系	上统	灯影组	380	白云岩	局限台地-盆地

总结出以下几种层序发育模式。

3.2.1 两坳夹一隆型的克拉通盆地层序模式

主要发育在震旦系—上奥陶统、泥盆系和石炭系。该层序和沉积模式在下古生界寒武系、中下奥陶统沉积期尤为典型(图6)。构造古格局控制沉积体系的展布,此时的地形为两坳夹一隆,中部的南京—巢湖—宿松一带为是北东—南西向古陆,周边地区为台地—台地前缘斜坡。由于“两坳夹一隆”的古地貌格局稳定发育,沉积体系的展布具有对称性,中部为台地相沉积,此时期台地为总体上为开阔台地,岩石多为颗粒石灰岩或白云岩,颗粒类型多为鲕粒、生物碎屑颗粒,可进一步分为开阔台地边缘浅滩、台地浅滩沉积,局部地区可能发育了局限台地沉积。在台地的南部边缘地带,台地边缘浅滩沉积发育,如安徽丁香剖面,仑山组下部主要为高能浅滩相,岩性为残余鲕粒白云岩、砂屑亮晶灰岩及部分残余砂屑白云岩,发育斜层理,是有利储层发育带。台地的两侧发育了台地边缘斜坡相沉积,斜坡相前部为陆棚—盆地相,如滁州—盱眙—盐

城台地斜坡—陆棚沉积相区,沉积为深灰色、灰色巨厚层灰岩、灰色泥质灰岩,含燧石结核^[14-15]。

3.2.2 前陆盆地层序模式

下扬子地区古生界前陆盆地层序主要发育在晚奥陶世末到晚志留世。浙西长兴及以北地区为前陆盆地的山前带,该区带为六和塔组滨岸相和近源粗粒扇三角洲沉积,上储层发育区,由于造山带(华夏古陆)的不断向北逆冲,控制了储集砂体的进积迁移。安徽泾县和石台地区为前渊带,水体深,主要发育了高家边组海相页岩。在巢湖、南京龙潭及以北地区,接近斜坡带,发育了分头组的斜坡带远源细粒三角洲。逆冲活动初期粗粒沉积发育,强烈活动期细粒沉积发育,由于造山带的多期活动,造成了粗粒沉积和细粒沉积在垂向上的多次叠加(图7)。

3.2.3 被动大陆边缘盆地层序模式

下扬子地区古生界被动大陆边缘盆地层序主要发育于中上奥陶统沉积期、下二叠统一—中三叠

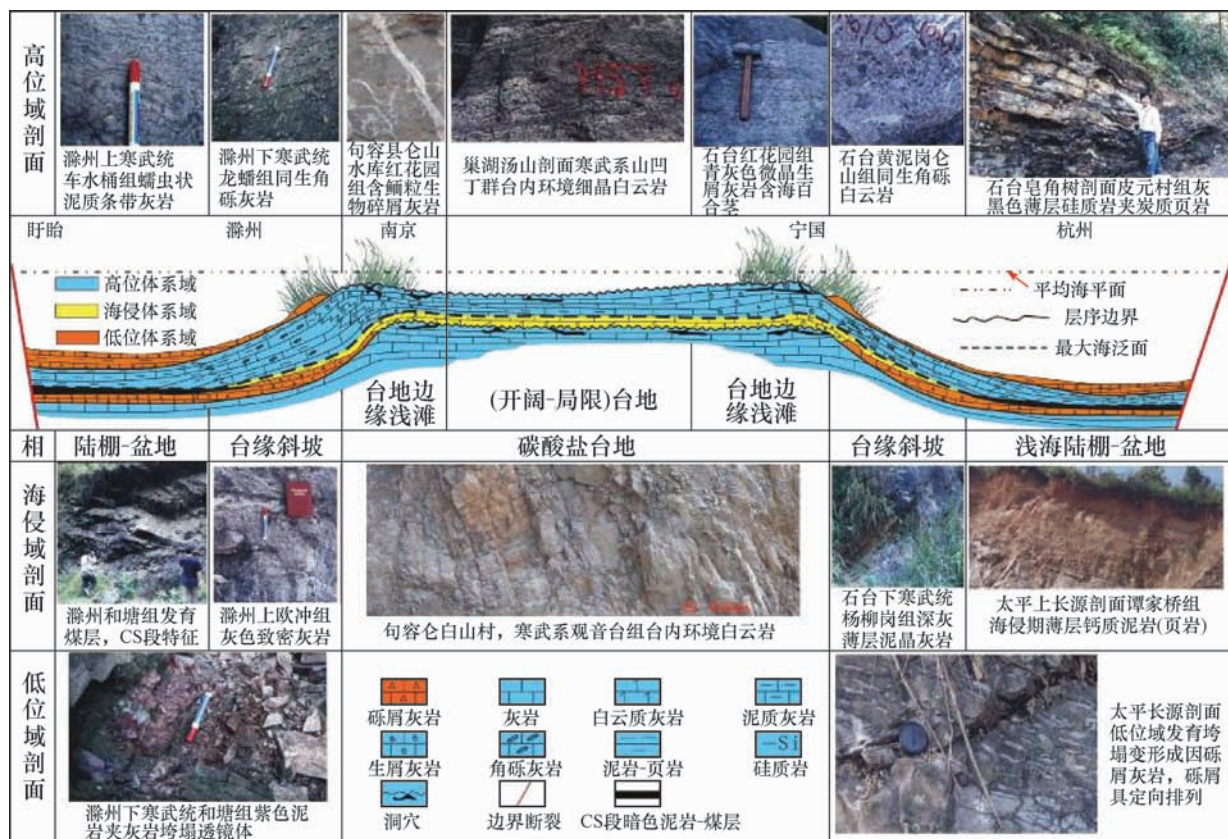


图6 下扬子地区古生界克拉通盆地层序模式

Fig. 6 The sequence stratigraphic model of the Paleozoic craton basin in the Lower Yangtze area

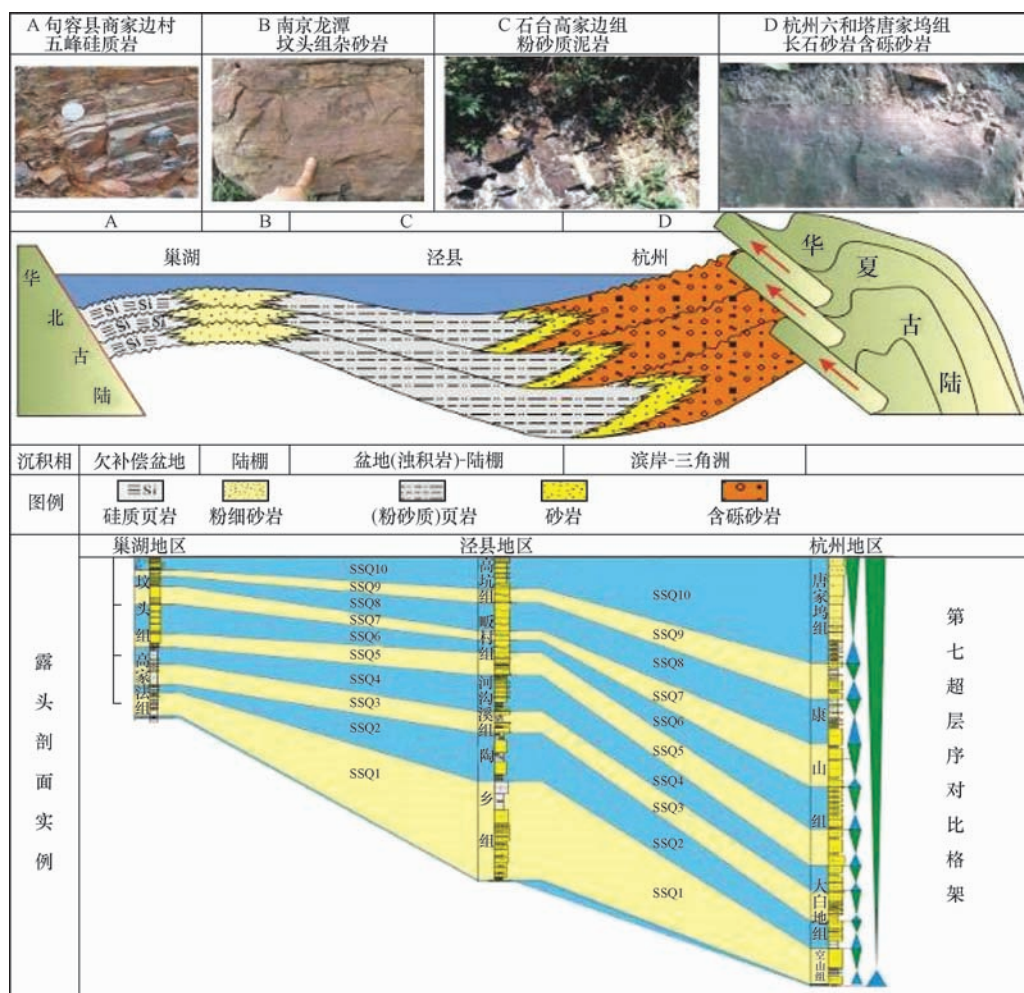


图7 下扬子地区古生界前陆盆地层序模式

Fig. 7 The sequence stratigraphic model of the Paleozoic foreland basin in the Lower Yangtze area

统沉积期,此时处于下扬子克拉通盆地向前陆盆地转化的过渡期(图8)。海平面升降变化对其影响较大,湖侵期主要为陆棚相沉积,随着海平面的下降,开始发育浅水沉积。进一步可识别出内缓坡、中缓坡、外缓坡3个亚相和陆棚-盆地沉积相。此时陆棚地区位于浙西长兴地区,发育长兴组三角洲平原相的灰黄色细砂岩,长兴以北地区为大陆斜坡,发育殷坑组前三角洲或三角洲前缘相的青灰色泥页岩。盆地相位于贵池地区,发育大隆组海相黑色薄层硅质岩和少量炭质页岩。南京地区则发育碳酸盐台地相,发育了栖霞组的含硅质致密灰岩。龙潭地区则发育潮坪-潟湖相,发育了龙潭组的薄层杂色页岩。

4 结论

运用 Vail 经典层序地层学理论中相关的概

念,以及该理论体系在我国层序分析中已取得的众多成功经验为指导,对下扬子区中生界、古生界露头层序地层特征进行了系统研究,在野外露头勘查、室内综合研究相结合的基础上,通过近两年的研究,总体上取得了以下主要结论和认识。

1) 系统总结了该地区的层序界面识别标志和层序界面的成因类型,并通过野外踏勘、室内综合研究,同时结合区域性研究,对下扬子区震旦系灯影组—三叠系进行了层序地层的研究划分,共划分出 11 个二级层序。

2) 识别出 4 种层序边界不整合面,即隆升侵蚀层序不整合面、海侵上超层序不整合面、水下侵蚀层序不整合面以及暴露层序不整合面。

3) 识别出 4 种类型的凝缩段,即瘤状泥灰岩、深色泥岩、薄煤层、薄层状硅质岩。凝缩段是最大海泛期沉积的产物,海侵体系域晚期在大套沉积

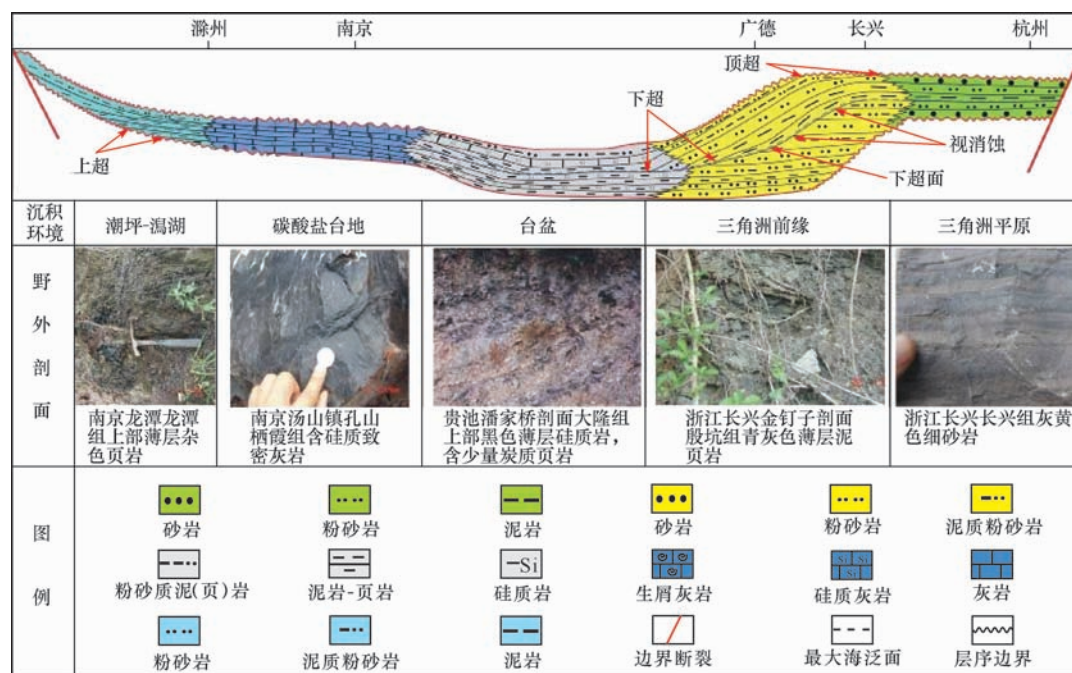


图 8 下扬子地区古生界被动大陆边缘盆地层序模式

Fig. 8 The sequence stratigraphic model of the Paleozoic passive margin basin in the Lower Yangtze Area

岩中出现相对较薄的岩层应考虑为凝缩段。

4) 结合研究区盆地背景,首次系统总结了下扬子地区中生界、古生界层序地层演化模式格局,并分别建立了克拉通盆地、前陆盆地、被动大陆边缘盆地背景下的层序地层发育模式并对其各自的层序发育特点进行了精细分析。

参考文献

- [1] 姜在兴. 沉积体系及层序地层学研究现状及发展趋势[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(5): 535-556.
Jiang Zaixing. Studies of depositional systems and sequence stratigraphy: the present and the future[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(5): 535-556.
- [2] 郑荣才, 彭军, 吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255.
Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255.
- [3] 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 89-97.
Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U. S. A.: high-resolution sequence stratigraphy[J]. Oil & Gas Geology, 1995, 16(2): 89-97.
- [4] Lin Changsong, Zheng Herong, Ren Jianye, et al. The control of syn-depositional faulting on the Eocene sedimentary basin fills of the Dongying and Zhanhua sags, Bohai Bay Basin[J]. Science in China: Series D, 2004, 47(9): 769-782.
- [5] 林畅松. 沉积盆地的层序和沉积充填结构及过程响应[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 849-862.
Lin Changsong. Sequence and depositional architecture of sedimentary basin and process responses[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 849-862.
- [6] 邓宏文. 高分辨率层序地层学应用中的问题探讨[J]. 古地学报, 2009, 11(5): 471-480.
Deng Hongwen. Discussion on problems of applying high resolution sequence stratigraphy[J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(5): 471-480.
- [7] 董桂玉, 陈洪德, 何幼斌, 等. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 931-939.
DongGuiyu, ChenHongde, He Youbin, et al. Some problems on the study of themixed siliciclastic carbonate sediments[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(9): 931-939.
- [8] 纪友亮, 张世奇. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 12.
Ji Youliang, Zhang Shiqi. The sequence stratigraphy of terrestrial rift lacustrine basin[M]. Beijing: Petroleum industry press, 1996. 12.
- [9] 纪友亮, 张世奇, 李红南. 东营凹陷下第三系陆相盆地层序地层学研究[J]. 地质论评, 1994, 40(增刊): 97-105.
Ji Youliang Zhang Shiqi, Li Hongnan. The study of sequence stratigraphy of terrestrial basin of lower Tertiary in Dongying

(下转第 786 页)

- 石油地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1): 57-62.
- Ning Fei, Tang Liangjie, Zhang Yu, et al. Eopaleozoic inversion structures in the Tazhong Uplift and their significance to petroleum geology[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1): 57-62.
- [14] 郭光辉, 汪海, 陈志勇, 等. 塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩复杂油气藏的特性[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 763-769.
- Wu Guanghui, Wang Hai, Chen Zhiyong, et al. Characteristics of the complex Ordovician carbonate reservoirs in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 763-769.
- [15] 肖朝晖, 王招明, 姜仁旗, 等. 塔里木盆地寒武系碳酸盐岩层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 1-10.
- Xiao Zhaohui, Wang Zhaoming, Jiang Renqi, et al. Sequence stratigraphic features of the Cambrian carbonate rocks in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 1-10.
- [16] 王祥, 张敏, 刘玉华. 塔里木盆地塔中地区天然气成因及其差异[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 335-342.
- Wang Xiang, Zhang Min, Liu Yuhua. Origins of natural gas in Tazhong area, the Tarim Basin and their differences[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 335-342.
- [17] 丁道桂, 汤良杰. 塔里木盆地形成与演化[M]. 南京: 河海大学出版社, 1996: 182-253.
- Ding Daogui, Tang Liangjie. Formation and evolution of Tarim Basin[M]. Nanjing: Hehai University Press, 1996: 182-253.
- [18] 康南昌. 阿尔金断裂系与塔中构造带的形成与演化[J]. 石油地球物理勘探, 2002, 37(1): 48-52.
- Kang Nanchang. Altun fault system and formation and evolution of Tazhong structural belt[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2002, 37(1): 48-52.
- [19] Suppe J. Geometry and kinematics of fault-bend folding[J]. American Journal of Science, 1983, 283(7): 684-721.
- [20] Suppe J, Medwedeff D. Geometry and kinematics of fault-propagation folding[J]. Eclogae Geologicae Helveticae, 1990, 83(3): 409-454.
- [21] Shaw J H, Hook S C, Suppe J. Structural trend analysis by axial surface mapping[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1994, 78(5): 700-721.
- [22] Shaw J H, Suppe J. Earthquake hazards of active blind-thrust faults under the central Los Angeles basin, California[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(B4): 8623-8642.
- [23] Shaw J H, Bilotte F, Brennan P A. Patterns of imbricate thrusting[J]. Geological Society of America Bulletin, 1999, 111(7): 1140-1154.
- [24] Shaw J H, Connors C, Suppe J. Seismic interpretation of contractional fault-related folds; an AAPG seismic atlas[M] // American Association of Petroleum Geologists Special Publication, 2004: 1-270.
- [25] Medwedeff D A, Suppe J. Multibend fault-bend folding[J]. Journal of Structural Geology, 1997, 19(3-4): 279-292.

(编辑 李军)

(上接第732页)

- Depression[J]. Geological Review, 1994, 40(supplement): 97-105.
- [10] Vail P R, Mitchm R M J, Thomposon S H. Seismic stratigraphy and global changes of sea level//Part-4, In: C. E. Pation (Editor): Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration, m. Assoc. Pt. Geol. AAPG Memoir. 1977, 26: 26-98.
- [11] Howell J A, Aitken J F. High resolution sequence stratigraphy: innovations and applications[J]. Geological Society Special Publication, 1996, 104: 1-24.
- [12] 蔡希源, 李思田. 陆相盆地高精度层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 69-80.
- Cai Xiyuan, Li Sitian. High resolution sequence stratigraphy of lacustrine basin[M]. Beijing: Geology press, 2003: 69-80.
- [13] 江苏省地质矿产局. 江苏省及上海市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社. 1982: 67-220.
- Geological survey of Jiansu Province. Regional geology of Jiansu province and Shanghai city[M]. Beijing: Geology Press, 1982: 67-220.
- [14] 安徽地矿局. 安徽省岩石地层[M]. 中国地质大学出版社, 1997.
- Geological survey of Anhui Province. Petrology and stratigraphy of Anhui province[M]. Beijing: China University of Geology Press, 1997: 88-120.
- [15] 江苏地矿局. 江苏省岩石地层[M]. 中国地质大学出版社, 1997.
- Geological survey of Jiansu Province. Petrology and stratigraphy of Jiansu province[M]. Beijing: China University of Geology Press, 1997: 57-81.

(编辑 董立)